

УДК 620.179.1:620.183.25

ДОСВІД ТА ПРОБЛЕМИ ОЦІНКИ ДЕГРАДУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛЕЙ ТРУБОПРОВІДНОГО СОРТАМЕНТУ

В. Д. Миндюк, М. О. Карнаш, Є. Р. Доценко

ІФНТУНГ; 15, вул. Карпатська, м. Івано-Франківськ, 76019.

E-mail: tinlaven@gmail.com

Проблема оцінки фактичного технічного стану металоконструкцій різного призначення у промисловості стає особливо актуальною в умовах гострої потреби у продовженні терміну експлуатації об'єктів, що відпрацювали свій нормативний ресурс. Зі збільшенням віку трубопровідних систем з'явилися нові науково-технічні проблеми оцінки ступеня деградації структури і фізико-механічних характеристик матеріалу трубопроводів і можливість їх подальшої експлуатації

Ключові слова: трубопроводи, технічний стан, деградація

Проблема оценки фактического технического состояния металлоконструкций разного назначения в промышленности становится особенно актуальной в условиях острой потребности в продолжении срока эксплуатации объектов, которые отработали свой нормативный ресурс. С увеличением возраста трубопроводных систем появились новые научно-технические проблемы оценки степени деградации структуры и физико-механических характеристик материала трубопроводов и возможность их дальнейшей эксплуатации

Ключевые слова: трубопроводы, техническое состояние, деградация

The problem of estimation of the actual technical state of metallic constructions of the different setting in industry becomes especially actual in the conditions of sharp requirement in extending of exploitation of objects that worked the normative resource. With the increase of age of the pipeline systems the new scientific and technical problems of estimation of degree of degradation of structure and physical mechanical descriptions of material of pipelines and possibility appeared them further exploitation

Keywords: pipelines, technical state, degradation

Питання оцінки фактичного технічного стану металоконструкцій різного призначення у промисловості стає особливо актуальним в умовах гострої потреби у продовженні терміну експлуатації об'єктів, що відпрацювали свій нормативний ресурс. Зі збільшенням віку трубопровідних систем, що мають високі експлуатаційні параметри (діаметри, тиск перекачуваного продукту, протяжність і т.п.), з'явилися нові науково-технічні проблеми, серед яких, перш за все, необхідно виділити проблему оцінки ступеня деградації структури і фізико-механічних характеристик матеріалу трубопроводів і можливість їх подальшої експлуатації.

Безпечна експлуатація і ресурс металоконструкцій довготривалої експлуатації залежить від фактичного стану структури та фізико-механічних властивостей металу. Вплив робочих умов експлуатації призводять з часом до деградації структури та зміни властивостей експлуатованого металу. Забезпечення безаварійної експлуатації трубопровідних металоконструкцій можливе тільки на основі отримання й аналізу об'єктивних інструментальних даних про фактичний стан матеріалів конструкцій [1].

Практичний досвід експлуатації трубопровідних металоконструкцій різного призначення показує, що у ході тривалої експлуатації відбуваються деградаційні зміни характеристик металу труб, у тому числі [2]:

- зниження пластичності, вираженої в зближенні величин границі плинності σ_T і границі витривалості σ_B ;

- зниження тріщиностійкості, що супроводжується деградацією ударної в'язкості a_n (ККУ).

Слід також зауважити, що трубопроводи, виготовлені з низьковуглецевих сталей, сприймають три види навантаження [3]: постійне статичне навантаження від внутрішнього тиску, вібраційне навантаження поблизу компресорних станцій та періодичні перевантаження (порядку 10^5 циклів за

час експлуатації) у разі зміни параметрів експлуатації. Хоча всі ці навантаження в низьколегованих і низьковуглецевих сталях значно менші статичної границі плинності, все ж таки тут протікають процеси мікропластичної деформації та пов'язаного з цим динамічного деформаційного та структурного старіння [2].

У деградованій структурі спостерігається розпад перліту, його сфероїдизація, карбідна складова перліту зміщується до границь зерен. Відбувається коагуляція карбідів, збільшується товщина границь зерен і кінцева структура являє собою ферит плюс карбідна сітка.

Авторами даної роботи проведені роботи по дослідженню фактичного технічного стану труб ділянок магістрального трубопроводу рідкого аміаку Тольятті – Одеса, що був прокладений у 1981 році, 1021 км якого проходить по території України. Роботи проводились на ділянках № 15, ГПС 13ЦЗ (Одеська область, Березівський район, с.Донська Балка), без втручання в режим роботи трубопроводу. Аміак у трубах знаходиться у рідкому стані під тиском до 80 атмосфер з температурою +4 °С.

Проблема забезпечення безаварійної роботи аміакопроводів, як об'єктів підвищеної небезпеки, ускладнена високою токсичністю транспортованого продукту, а також конструктивними особливостями прокладання трубопроводу – в зовнішньому металевому кожусі із газоподібним азотом у міжтрубному просторі (для підводних переходів).

При цьому, внаслідок впливу зазначених вище чинників в сукупності з геодинамічним фактором оточуючого середовища особливої актуальності набуває питання моніторингу фактичних механічних характеристик і структурного стану металу трубопроводів для попередження аварійних ситуацій технічного характеру.

У ході обстеження для визначення фактичних значень механічних характеристик було проведено:

- вимірювання твердості поверхневого шару;
- вимірювання ударної в'язкості;
- вимірювання коерцитивної сили;
- вимірювання питомого електричного опору матеріалу трубопроводу.

Для визначення фізико-механічних характеристик металу труб аміакопроводу використовувалися методи і засоби, які базуються на різних фізичних принципах.

Дослідження ділянок магістрального трубопроводу рідкого аміаку проводились з використанням наступних технічних засобів:

- структуроскоп КРМ-Ц-К2М;
- твердомір динамічний ТД-32;
- мікроомметр БСЗ-010-2;
- інформаційно-вимірювальна система ІВС-І2 (власної розробки).

Дослідження проводились почергово на 6-ти перерізах трубопроводу, у кожному з яких вимірювання згаданих параметрів проводилось у восьми точках (рис. 1).

В якості вихідних нормативних параметрів механічних характеристик взяті дані з сертифікатів на трубні сталі. За сертифікатами середні значення границі плинності $\sigma_T = 219$ МПа та границі витривалості $\sigma_B = 414$ МПа для сталі Х42, а для сталі Х46 ці значення складають: границя плинності $\sigma_T = 317$ МПа та границя міцності $\sigma_B = 434$ МПа.

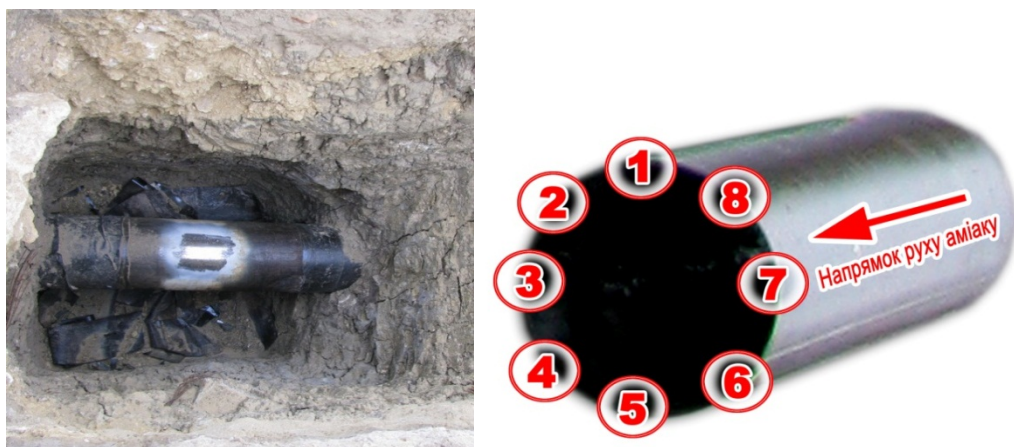
За сертифікатами середні значення ударної в'язкості КCU 70,54 кДж/см² для сталі Х42, а для сталі Х46 це значення складає 139,20 кДж/см² при температурі -40 °С.

Визначення ударної в'язкості було здійснено за шкалою KCV при температурі 0 °С. В сертифікатах на сталі регламентовано значення ударної в'язкості за Менаже (КCU) при -40 °С, визначених на зразках типу 1 відповідно до ГОСТ 9454-78. Значення KCV і КCU неспівставні (немає перевідних таблиць). Перевід здійснюється за формулою:

$$KCU \text{ (Дж/см}^2\text{)} = (9,81/7,847) KCV \text{ (Дж/см}^2\text{)}. \quad (1)$$

Загалом слід зазначити, що випробування на зразках з V-подібним надрізом більш жорсткі ніж з U-подібним, тому чисельному значенню KCV можуть відповідати більші значення КCU.

Границя витривалості σ_B розраховувалась за значеннями твердості за шкалою Брінеля (НВ) та за значеннями коерцитивної сили.



а)

б)

Рисунок 1 – Місце вимірювання (шурф) (а) і місця та порядок розташування точок перерізу (1-8) (б), на яких проводились вимірювання

За значеннями твердості за НВ:

$$\sigma_b = \text{HB}(\text{МПа}) \cdot k, \quad (2)$$

де $\text{HB}(\text{МПа}) = \text{HB} \cdot 9,81$; $k = 0,345$ для ($\text{HB} < 1500$); $k = 0,36$ для ($\text{HB} > 1500$).

Спосіб оцінки границі об'ємної міцності за поверхневою твердістю володіє не достатньо високою кореляцією внаслідок ортотропності властивостей матеріалу по товщині. Для інтегральної оцінки границі міцності в локальному об'ємі матеріалу додатково було використано метод коерцитивної сили.

За значеннями коерцитивної сили границя витривалості визначалася за табличними значеннями (рис.2) [4].

Дійсні механічні характеристики визначались за результатами вимірювань відповідно до методик:

- Методика виконання вимірювань ударної в'язкості сталей трубопровідного сортаменту (розроблена Науково-дослідним інститутом нафтогазової енергетики і екології, 2011р; затверджена ІФНТУНГ, 2011р.);

- Методика виконання вимірювань границі плинності конструкційних (трубопровідних) сталей (розроблена Науково-дослідним інститутом нафтогазової енергетики і екології, 2011р; затверджена ІФНТУНГ, 2011р).

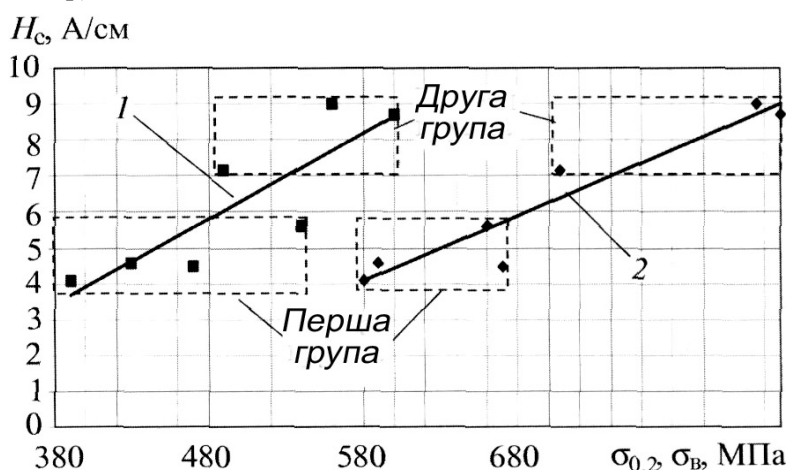


Рисунок 2 – Залежність коерцитивної сили від границі плинності (1) та міцності (2) для сталі марки 17Г1С

Для сталі 17Г1С з достовірністю апроксимації $R^2 = 0,91$ (рис.2) [4]:

$$H_c = 0,0237\sigma_{0.2} - 5,54 \quad (3)$$

$$H_c = 0,0183\sigma_B - 8,53 \quad (4)$$

Обстеженню піддавалися труби на ділянках районів постів СПС 13Б3, СПС 13Г5 і ГПС 13Ц3. Результати обстежень подані в табл.1 і 2.

Таблиця 1 – Фактичні значення механічних характеристик труб за результатами вимірювань

Сталь	σ_B (норматив- не), МПа	σ_T (норматив- не), МПа	σ_B (за НВ), МПа	σ_B (за мето- диною), МПа	σ_T (за мето- диною), МПа	σ_T (за ко- ерц. силою), МПа
Пост ГПС 13Ц3						
Точка вимірювання №1 ($D_{тр}=355,6$ мм; температура повітря $t_n=8$ °С)						
X42	414,0	290,0	476,5	438,3	276,6	380
X46	434,0	317,0	456,1	425,5	269,4	395
Точка вимірювання №2 ($D_{тр}=355,6$ мм; температура повітря $t_n=8$ °С)						
X42	414,0	290,0	491,6	451	287,5	380
Точка вимірювання №4 ($D_{тр}=355,6$ мм; температура повітря $t_n=8$ °С)						
X42	414,0	290,0	505,1	460,1	294,1	380
Пост СПС 13Б3						
Точка вимірювання №7($D_{тр}=355,6$ мм; температура повітря $t_n=10$ °С)						
X46	434,0	317,0	432,4	407,9	253,1	400
Точка вимірювання №8 ($D_{тр}=355,6$ мм; температура повітря $t_n=10$ °С)						
X42	414,0	290,0	454,4	424,0	263,5	380
Район посту СПС 13Г5 (1999 км) ($D_{тр}=355,6$ мм; температура повітря $t_n=4$ °С)						
X46	434,0	317,0	448,9	420,1	262,3	380

Результати вимірювання ударної в'язкості труб подані у табл.2.

Таблиця 2 – Значення ударної в'язкості KCV труб за результатами вимірювань

Ділянка контролю	Матеріал труби	Значення ударної в'язкості KCV при температурі 0 °С, кДж/см ²	Величина зміни KCV у порівнянні із значенням KCV для труб запасу, %
Пост ГПС 13Ц3			
Точка вимірювання №1	Сталь X.42	62,76	- 15
	Сталь X.46	48,78	1
Точка вимірювання №2	Сталь X.42	46,65	- 30
Точка вимірювання №4	Сталь X.42	53,33	- 27
Пост СПС 13Б3			
Точка вимірювання №7	Сталь X.46	37,76	- 22
Точка вимірювання №8	Сталь X.42	60,40	- 17
Пост СПС 13Г5			
Ділянка переізоляції	Сталь X.46	50,11	4

Примітка. Значення зміни величини ударної в'язкості зі знаком «-» свідчать про деградацію даної характеристики.

Результати вимірювань ударної в'язкості при температурі 0 °С на визначених ділянках трубопроводу дали змогу встановити, що значна деградація цієї характеристики відбулась на 3-ох з 7-ми досліджуваних ділянках (точки 2, 4 та 7), що може свідчити про збільшення швидкості деградаційних процесів в даних точках.

Проведені вимірювання та розрахунки границі плинності, границі міцності та коефіцієнту запасу свідчать про незначну швидкість деградації згаданих характеристик (табл.3).

З огляду на технологічні та експлуатаційні умови серед причин деградаційних процесів слід виділити:

- наводнення воднем, що міститься у воді та аміаку, яке призводить до суттєвого зниження ударної в'язкості, зниження пластичності;
- старіння матеріалу. Цей факт, в першу чергу, підтверджується зниженням границі плинності та границі міцності для труб, що перебувають в запасі.

Результати вимірювань ударної в'язкості при температурі 0 °С на визначених ділянках трубопроводу дали змогу встановити, що значна деградація цієї характеристики відбулась на 3-ох з 7-ми досліджуваних перерізах (точки 2, 4 та 7), що може свідчити про збільшення швидкості деградаційних процесів в даних точках.

Проведені вимірювання та розрахунки границі плинності, границі міцності та коефіцієнту запасу свідчать про низьку швидкість деградації згаданих характеристик.

Таблиця 3 – Результати оброблення вимірювань границь міцності та плинності

Ділянка вимірювань	Матеріал труб	Зміна відношення σ_T/σ_B для нормативних і виміряних значень	Зміна коефіцієнту запасу безпечної експлуатації для нормативних і виміряних значень
Труби аварійного запасу	Сталь Х46 Сталь Х42	з 0,730 до 0,564 з 0,529 до 0,584	з 1,7-2,3 до 1,4-1,8 з 1,2-1,5 до 1,4-1,8
Пост ГПС 13ЦЗ			
Точка вимірювання №1	Сталь Х42 Сталь Х46	з 0,529 до 0,581 з 0,730 до 0,591	з 1,2-1,5 до 1,4-1,8 з 1,7-2,3 до 1,4-1,8.
Точка вимірювання №2	Сталь Х42	з 0,529 до 0,585	з 1,2-1,5 до 1,4-1,8
Точка вимірювання №4	Сталь Х42	з 0,529 до 0,583	з 1,2-1,5 до 1,4-1,8
Пост СПС 13БЗ			
Точка вимірювання №7	Сталь Х46	з 0,730 до 0,585	з 1,7-2,3 до 1,4-1,8
Точка вимірювання №8	Сталь Х42	з 0,529 до 0,580	з 1,2-1,5 до 1,4-1,8
Пост СПС 13Г5	Сталь Х46	з 0,730 до 0,584	з 1,7-2,3 до 1,4-1,8

Для підтвердження ознак і причин деградації матеріалу труб, про які свідчать результати неруйнівного контролю механічних характеристик матеріалу, додатково на ділянці ГПС 13ЦЗ були проведені металографічні дослідження. Результати металографії показали, що процес „старіння“ структури у матеріалі труб пройшов зі зниженням характеристик пластичності, про що свідчать результати вимірювань границь міцності, плинності і ударної в'язкості. Оскільки процеси руху та „розмноження“ дислокацій в локальних об'ємах металу низьковуглецевих сталей протікають за напружень значно менших статичної границі плинності, то і процеси деформаційного старіння у трубних сталях протікають при експлуатаційних навантаженнях [5].

Література

1. Карпаш О.М. Комплексний метод контролю фізико-механічних характеристик матеріалів металоконструкцій / О.М. Карпаш, Є.Р. Доценко, М.О. Карпаш // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2011. – №5. – С.40-47
2. ДСТУ 4046-2001 Обладнання технологічне нафтопереробних, нафтохімічних та хімічних виробництв. Технічне діагностування. Загальні технічні вимоги.
3. ГОСТ 5520 Сталь листовая углеродистая низколегированная и легированная для котлов и сосудов работающих под давлением.
4. [Агиней Р.В., Теплинский Ю.А., Кузьбожев А.С.] Применение коэрциметрического метода для оценки микроструктуры стали 17Г1С // Контроль. Диагностика. – 2005. – №1. – С.32-34.
5. ГОСТ 5639 – 82 Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
10.06.12*

*Рекомендована до друку оргкомітетом
міжнародної науково-технічної конференції
“Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу”,
яка відбулася 15-18 травня 2012 р.*